مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۴، شماره ۱، سال ۱۳۹۷

شناسایی منابع مقاومت به بیماری زنگ زرد در تعدادی از ژنوتیپ‌های کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران

Identification of Resistance Sources to Yellow Rust in Some Genotypes of Bread Wheat Collection of the National Plant Gene Bank of Iran

مهدی زهراوی[1] و فرزاد افشاری[2]

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۸

چکیده

زهراوی، م.، و افشاری، ف. ۱۳۹۷. شناسایی منابع مقاومت به بیماری زنگ زرد در تعدادی از ژنوتیپ‌های کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۴: ۱۴-۱. 10.22092/spij.2017.118626**

به منظور شناسایی منابع مقاومت به زنگ زرد در ژرم‌پلاسم گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران، تعداد ۴۱ ژنوتیپ گندم نان با چهار نژاد زنگ زرد مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدایه‌های عامل بیماری از مناطق گرگان، کرج، مشهد و ساری جمع‌آوری شده، در گلخانه بصورت تک جوش، خالص‌سازی، تکثیر و روی ارقام افتراقی تعیین نژاد شدند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در گلخانه، در مرحله گیاهچه در سه تکرار و برای هر پاتوتیپ بطور جداگانه انجام شد. با بررسی واکنش ارقام افتراقی، جدایه‌های گرگان، کرج، مشهد و ساری به ترتیب به عنوان نژادهای $6E6A^+$، $134E134A^+$، $134E142A^+$ و $6E4A^+$ نام‌گذاری شدند. نتایج نشان داد که هر چهار نژاد روی ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr25*، *Yr24* و *YrA* بیماری‌زا بودند ولی هیچ‌یک روی ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *YrSD*، *YrSU*، *YrCV* و *YrSP* بیماری‌زا نبودند. تعداد ۲۹ ژنوتیپ (۴۶/۷ درصد) در برابر هر چهار نژاد، واکنش مقاومت نشان دادند. این ژنوتیپ‌ها از مناطق متفاوتی از ایران شامل آذربایجان شرقی، خراسان، کردستان، کرمانشاه، لرستان، مرکزی، همدان، و همچنین از کشورهای پرتغال و چین بودند. همچنین با انجام مقایسه واکنش ژنوتیپ‌ها با واکنش ارقام افتراقی در برابر نژادهای مورد مطالعه، مشخص شد که برخی از ژنوتیپ‌ها احتمالاً دارای ژن مقاومتی به غیر از ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی (و یا دارای ترکیبی از دو یا چند ژن مقاومت) می‌باشند. نتایج تحقیق در مجموع، نشان‌دهنده پتانسیل منابع ژنتیکی گندم نان در کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران برای مقاومت به زنگ زرد بود.

واژه‌های کلیدی: ژرم‌پلاسم گندم نان، ارقام افتراقی، نژادها، مقاومت، واکنش.

نگارنده مسئول: mzahravi@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۱۲۶۰

مقدمه

بیماری زنگ زرد که توسط قارچ *Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* Eriks ایجاد می‌شود یکی از مهمترین بیماری‌های گندم در نواحی خنک و مرطوب است (Zadoks, 1961). در اغلب مناطق کشت و تولید گندم کاهش عملکرد ناشی از زنگ زرد به میزان ۱۰ الی ۷۰ درصد بسته به حساسیت رقم مورد کشت، آلودگی اولیه زودهنگام، میزان توسعه و طول مدت بیماری مشاهده می‌شود (Chen, 2005). استفاده از ارقام مقاوم، مؤثرترین، اقتصادی‌ترین و از نظر زیست محیطی، ایمن‌ترین روش کنترل بیماری زنگ زرد است (Paillard *et al.,* 2012).

مقاومت گیاهچه‌ای عموما دارای توارث کیفی و اختصاصی به‌نژاد می‌باشد و ازاینرو به آسانی توسط نژاد بیماری‌زای جدید شکسته می‌شود (Johnson, 1981). هرچند که این موضوع ممکن است در مورد ژن‌های مقاومت گیاه بالغ نیز صادق باشد، اما مقاومت گیاه بالغ، عموما دارای توارث کمّی، غیراختصاصی به نژاد و پایدار است (Borner *et al.,* 2000; Johnson 1984). تعداد ۷۰ ژن مقاومت تأیید شده (Validated) و احتمالی (Tentative)، تحت عنوان *Yr*، توسط چن (Chen, 2005) و مک اینتاش و همکاران (McIntosh *et al.,* 2008) گزارش شده است. همچنین ۴۹ مکان ژنی *Yr*، مستند شده (Catalogued) و به کروموزوم‌ها یا بازوهای کروموزومی معین اختصاص داده شده‌اند (McIntosh *et al.*, 2011). مقاومت ناشی از اکثر این ژن‌ها مختص به نژاد بوده و توسط یک یا چند ژن اصلی کنترل می‌شود (Kilpatrick, 1975; Lu *et al.,* 2009).

دلیل علاقمندی به‌نژادگران به مقاومت اختصاصی به نژاد، میزان بالای تأثیر آن در کل چرخه رشدی محصول (علیرغم احتمال شکسته شدن بعدی آن در صورت جهش یا گزینش در جمعیت بیمارگر) است (Ren *et al.*, 2012). دلیل دیگر نیز سهولت انتقال تک ژن‌های مقاومت به ارقام تجاری در برنامه‌های به‌نژادی است (Chen, 2007). در سال‌های اخیر ژرم‌پلاسم بومی گندم به عنوان منابع جدید ژن‌های مقاومت به زنگ زرد بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

چنگ و چن (Cheng and Chen, 2010) ژن مقاومت *Yr43* را در IDO377s (رقم گندم بهاره سخت مورد کشت در آمریکای شمالی) مورد شناسایی قرار دادند. لی و همکاران (Li *et al.*, 2011) ژن مقاومت *Yr45* را در ژنوتیپ 'PI 181434'، بومی افغانستان، شناسایی نمودند. پایلارد و همکاران (Paillard *et al.,* 2012) با ارزیابی جمعیت‌های در حال تفرق حاصل از رقم گندم فرانسوی Apache توسط سه پاتوتیپ زنگ زرد، سه QTL مختص به نژاد (*QYr*) را شناسایی نمودند که دو QTL با مقاومت گیاهچه‌ای و یک QTL با مقاومت گیاه بالغ در ارتباط بود.

نظری و همکاران (Nazari *et al*., 2000) ۴۷ لاین پیشرفته گندم دیم را توسط چهار نژاد زنگ زرد $6E18A^-$، $38E18A^+$، $134E134A^+$ و $134E150A^+$ مورد ارزیابی قرار دادند. آنها گزارش نمودند که لاین‌های Dari2، Dari3، Dari4، Dari5 و Dari 6 نسبت به همه نژادها مقاومت کامل نشان دادند. زهراوی و همکاران (Zahravi *et al*., 2004) واکنش ۳۹ لاین پیشرفته گندم را نسبت به چهار نژاد زنگ زرد گندم $134E148A^+$، $6E134A^+$، $6E130A^+$ و $166E42A^+$ بررسی نمودند.

نتایج نشان داد اکثر قریب به اتفاق لاین‌های مورد مطالعه حداقل به یکی از نژادهای مورد بررسی در مرحله گیاهچه مقاوم بودند و تعداد زیادی از لاین‌ها، واکنش مقاومت ناقص داشتند. افشاری و همکاران (Afshari *et al*., 2005) با مطالعه فاکتورهای بیماری‌زایی عامل بیماری زنگ زرد گندم در چند منطقه ایران مشاهده نمودند در هر سه سال آزمایش (۱۳۸۱ الی ۱۳۸۳) بیشترین بیماری‌زایی برای ژن‌های *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr25* و *YrA* وجود داشت.

ملیحی‌پور و ترابی (Malihipor and Torabi, 2008) واکنش ۲۰۰ رقم و لاین پیشرفته گندم دیم را در مرحله گیاهچه نسبت به نژاد $134E134A^+$(جمع آوری شده از کرج) و نژاد $134E142A^+$ (جمع‌آوری شده از مراغه) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ۴۹ درصد از ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در برابر نژاد $134E134A^+$ دارای تیپ آلودگی ۹-۷، ۳۹ درصد دارای تیپ آلودگی ۲-۰، و هفت درصد دیگر دارای تیپ آلودگی ۶-۳ بودند. در برابر نژاد $134E142A^+$، ۵۵ درصد ژنوتیپ‌ها تیپ آلودگی ۹-۷، ۳۰ درصد تیپ آلودگی ۲-۰ و ۹ درصد تیپ آلودگی ۶-۳ نشان دادند. همچنین ۴۱/۵ درصد از مواد آزمایشی در برابر هر دو نژاد فوق‌الذکر تیپ آلودگی حساسیت (۹-۷)، ۲۴/۵ درصد تیپ آلودگی ۲-۰ و یک درصد دیگر تیپ آلودگی ۶-۳ داشتند.

ذخایر توارثی گندم منابع ارزشمندی برای مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشند. از سوی دیگر برنامه‌های به‌نژادی سبب یکنواخت شدن یا محدود شدن زمینه ژنتیکی ارقام اصلاح شده و تجاری و در نتیجه موجب آسیب‌پذیری آنها شده است. بدین سبب ژنوتیپ‌های بومی و خویشاوندان وحشی به عنوان منابع جدید مقاومت، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌اند. این تحقیق با هدف مطالعه دقیق‌تر منابع مقاومت به زنگ زرد در ژرم‌پلاسم گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران و امکان شناسایی ژن‌های مقاومت موجود در آنها انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی ۴۱ ژنوتیپ گندم نان از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران برای مقاومت به بیماری زنگ زرد و تعیین

ژن‌هـای مقاومـت احتمـالی ارزیـابی شـدند. ژنوتیپ‌های مـذکور براساس تظاهر مطلوب از لحـاظ مقاومـت بـه زنـگ زرد در تحقیقـات مقـدماتی (Arshad *et al.,* 1999; Arshad *et al.,* 2000) انتخاب گردیـده و از توده‌هـای مربوطـه جـدا و خالص‌سـازی شـده بودنـد. جدایـه‌های زنـگ زرد کـه از منـاطق گرگـان، کـرج، مشـهد و سـاری جمـع‌آوری و برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌هـا اسـتفاده شـدند. جدایه‌های مذکور بصورت تک جـوش خـالص، تکثیر و تعیین نژاد شدند.

برای تعیین نژاد از ارقام افتراقی شـامل هشـت رقـم جهـانی ((Chinese 166 (*Yr1*)، Lee (*Yr*7)، Heines Kolben (*Yr2*)، Vilmorin23 (*Yr*3)، Moro (*Yr*10)، Strubes Dickkopf (*YrSD*)، Suwon92/Omar (*Yr*SU) و Clement (*Yr2*, *Yr9*+))، هشـت رقـم اروپـایی ((Hybrid 46 (*Yr4*)، Reichersberg 42 (*Yr*7)، Heines Peko (*Yr*2, *Yr6*)، Nord Desperz (*YrND*)، Compare (*Yr*8)، Carstens V (*YrCV*)، Spadlings (*YrSP*) و Heines VII (*Yr*2)) و نـه رقـم تکمیلـی (Fed.*4/Kavkaz (*Yr*9)، Anza (*YrA*)، Avocet 'R ' (*Yr*)، Avocet 'S' (*YrA*)، Kalyanasona (*Yr2*)، *T.spelta* var. *album* (*Yr*5)، TP 981، TP 1295 (*Yr*25) و Meering + Yr24 (*Yr24*)) استفاده شد.

ارزیـابی ژنوتیپ‌هـا بـرای هـر جدایـه بطـور جداگانـه در سـه تکـرار در گلخانـه واحـد بیماری‌هـای غـلات بخـش تحقیقـات غـلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر انجام شـد. مایـه‌زنی و ارزیـابی ژنوتیپ‌هـا بـرای هـر پاتوتیپ بطور جداگانه انجام شـد. بـدین منظـور در هر تکرار پنج بذر از هر ژنوتیپ در گلدانی بـا خاک ضدعفونی شـده کشـت گردیـد. مایـه‌زنی نمونه‌ها هنگامی که برگ اول گیاهچه‌ها به رشـد کامل خود رسیدند، انجام شد.

برگ‌ها با آب مقطر حاوی تـوئین-۲۰ (یـک قطـره در لیتـر) اسـپری و بطـور کامـل مرطـوب شدند. سپس اسپور قارچ و پودر تالک بـه نسـبت ۴:۱ مخلـوط گردیـده و توسـط گردپـاش دسـتی روی برگ‌ها پاشـیده شـد. گلـدان‌ها بـا سـرپوش پلاستیکی پوشانده شـدند و بـه مـدت ۲۴ سـاعت در دمای ۱۰°C و رطوبت نسبی صـد در صـد در شرایط تاریکی مطلق نگهداری گردیدند. سـپس گلـدان‌ها بـه گلخانـه‌ای بـا دمـای ۱۵°C، نـور ۱۶ هـزار لـوکس و بـا مـدت ۱۴ سـاعت نـور و ۱۰ ساعت تاریکی، منتقل شدند. پس از گذشـت ۱۵ روز از زمان مایه‌زنی، تیپ آلـودگی بـه روش مک نیـل و همکـاران (McNeal *et al.*, 1971) یادداشت‌برداری شد.

ژن‌هـای مقاومـت احتمـالی در ژنوتیپ‌هـای مـورد بررسـی از طریـق مقایسـه واکـنش آنهـا بـا واکنش ارقام افتراقی در برابـر نژادهـای شناسـایی شده عامـل بیمـاری تعیـین گردیـد. ژنوتیپ‌هـای

مورد مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

شماره نمونه و منشاء ژنوتیپ‌های گندم نان استفاده شده در این بررسی در جدول ۱ و واکنش ارقام افتراقی نسبت به جدایه‌های مورد ارزیابی در جدول ۲ ارائه شده است. با بررسی و مقایسه تیپ آلودگی در ارقام مذکور مشخص شد که جدایه‌ها، دارای نژاد متفاوتی می‌باشند. براین اساس جدایه‌های گرگان، کرج، مشهد و ساری به ترتیب به عنوان نژادهای $6E6A^+$، $134E134A^+$، $134E142A^+$ و $6E4A^+$ تعیین شدند. نژاد $134E142A^+$ روی بیشترین تعداد از ارقام افتراقی (مجموعاً ۱۶ رقم) بیماری‌زا بود و بنابراین به عنوان پرآزارترین نژاد در بین نژادهای مورد بررسی شناسایی شد.

در واقع نژاد $134E142A^+$ بر روی ژن‌های Yr_1، Yr_3، Yr_4، Yr_5، Yr_8، Yr_{10}، Yr_{CV}، Yr_{SP}، Yr_{SD} و Yr_{SU}، غیربیماری‌زا بود. نژادهای $6E6A^+$ و $6E4A^+$ دارای کمترین پرآزاری (نسبت به دو نژاد دیگر) بودند. تنها تفاوت بین دو نژاد $134E134A^+$ و $134E142A^+$، بیماری‌زایی روی رقم افتراقی Nord Desprez (*YrND*) (بیماری‌زایی $134E142A^+$ و غیربیماری‌زایی $134E134A^+$) بود. نژادهای $6E6A^+$ و $6E4A^+$ هر دو، بر روی ژن‌های Yr_2، Yr_6، Yr_7، Yr_9، Yr_{25}، Yr_{24} و Yr_A، بیماری‌زا بودند.

تفاوت دو نژاد $6E6A^+$ و $6E4A^+$، در بیماری‌زایی بر روی ارقام افتراقی Reichersberg 42 و TP 981 بود بطوریکه نژاد $6E6A^+$ روی رقم Reichersberg 42 (ژن *Yr7*) بیماری‌زا و روی رقم TP 981 غیربیماری‌زا و نژاد $6E4A^+$ بر روی رقم TP 981 بیماری‌زا و روی رقم Reichersberg 42 غیربیماری‌زا بود. بر اساس این نتایج جدایه گرگان (نژاد $6E6A^+$) با جدایه ساری (نژاد $6E6A^+$) و جدایه کرج (نژاد $134E134A^+$) با جدایه مشهد (نژاد $134E142A^+$) تفاوت ژنتیکی کمتری داشتند.

کلیه نژادهای مورد بررسی بر روی ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr25*، *Yr24* و *YrA* بیماری‌زا بودند. همچنین هیچ کدام از نژادهای تعیین شده بر روی ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *YrSD*، *YrSU*، *YrCV* و *YrSP* بیماری‌زا نبودند. از بین نژادهای مورد بررسی فقط $6E6A^+$ بر روی رقم Reichersberg 42 (ژن *Yr7*) و $6E6A^+$ بر روی رقم TP 981 غیربیماری‌زا بودند. همچنین $134E142A^+$ تنها نژاد با بیماری‌زایی اختصاصی بر روی رقم Nord Desprez (ژن *YrND*) بود.

تعداد ۲۹ ژنوتیپ شامل 327، 333، 365 (آذربایجان شرقی)، 3071، 3218، 3228، 3417، 3427 و 3472 (خراسان)، 4174 (کردستان)، 1953 (کرمانشاه)، 436 (لرستان)، 2596 (مرکزی)، 1972 (همدان)، 955، 1335، 1352، 1353، 1780، 1793، 1803، 1804،

جدول۱ – شماره نمونه و منشاء ژنوتیپ‌های گندم نان مورد ارزیابی برای مقاومت نسبت به چهار پاتوتیپ زنگ زرد

Table 1. Accession number and origin of bread wheat genotypes evaluated for resistance to four pathotypes of yellow rust

Accession	Origin	Accession	Origin	Accession	Origin	Accession	Origin
955	Iran*	2032	Iran	3071	Khorasan	1953	Kermanshah
1335	Iran	2094	Iran	3218	Khorasan	436	Lorestan
1352	Iran	2421	Iran	3228	Khorasan	2596	Markazi
1353	Iran	2787	Iran	3416	Khorasan	1972	Hamedan
1780	Iran	2898	Iran	3417	Khorasan	5164	Portugal
1793	Iran	304	East Azarbayjan	3427	Khorasan	6619	China
1803	Iran	327	East Azarbayjan	3472	Khorasan	6789	China
1804	Iran	333	East Azarbayjan	3560	Khuzestan	5271	Unknown
1992	Iran	365	East Azarbayjan	1796	Semnan		
1997	Iran	1724	Khorasan	2192	Fars		
2003	Iran	1768	Khorasan	4174	Kordestan		

* در مواردی که ایران ذکر شده است، استان منشاء ژنوتیپ‌ها نامشخص می‌باشد.

* Where Iran is mentioned, the province of origin of the genotypes is unknown.

جدول ۲- واکنش ارقام افتراقی نسبت به جدایه‌های *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* جمع‌آوری شده از چهار استان گرگان، ساری، کرج و مشهد

Table 2. Reaction of differential cultivars to the isolates of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collected from Gorgan, Sari, Karaj and Mashhad provinces

World differential set ارقام افتراقی جهانی

Isolate	Pathotype (Race)	1 Chinese 166 (*Yr*1)	2 Lee (*Yr*7)	3 Heineskolben (*Yr1*, *Yr6*)	4 Vilmorin 23 (*Yr*3V)	5 Moro (*Yr10*)	6 Strubes Dickkopf (*YrSD*)	7 Suwon92/Omar (*YrSU*)	8 Clement (*Yr2*, $Yr9^{+}$)	Bolani (Susceptible Check)
Karaj	134E134A+	0	7	7	0	0	3+CN	0	7	8
Mashhad	134E142A+	0	7	7	0	0	0	0	7	7
Sari	6E4A+	0	7	7	0	0	0	0	0	7
Gorgan	6E6A+	0	8	8	4CN	0	4CN	4+CN	4CN	7

European differential set ارقام افتراقی اروپائی

Isolate	Pathotype (Race)	9 Heines VII ($Yr2^{+}$)	10 Hybrid 46 (*Yr*4)	11 Reichersberg 42 ($Yr7^{+}$)	12 Heines Peko (*Yr2*, $Yr6^{+}$)	13 Nord Desprez (*YrND*)	14 Compare (*Yr*8)	15 Carstens V (*YrCV*)	16 Spaldings Prolific (*YrSP*)	Bolani (Susceptible Check)
Karaj	134E134A+	0	7	7	0	3+	0;	0;	7	8
Mashhad	134E142A+	0	7	7	7	0	0	0	7	7
Sari	6E4A+	0	0	7	0	0	0	0	0	7
Gorgan	6E6A+	0	8	8	0	0	3+CN	0	5C	7

Supplemental differential set ارقام افتراقی تکمیلی

Isolate	Pathotype (Race)	18 Anza (*Yr*A)	19 Avocet 'R' (*Yr*A)	20 Avocet 'S'	21 Kalyansona (*Yr*2)	22 *T.spelta* var. *album* (*Yr*5)	23 TP 981	24 TP 1295 (*Yr*25)	25 Meering ($Yr24^{+}$)	Bolani (Susceptible Check)
Karaj	134E134A+	8	8	8	7	0	7	8	7	8
Mashhad	134E142A+	7	7	7	7	0	7	7	7	7
Sari	6E4A+	7	7	7	7	0	7	7	7	7
Gorgan	6E6A+	8	8	8	8	0	0	7	8	7

شناسایی منابع مقاومت به بیماری زنگ زرد در...

1997، 2003، 2032، 2898 (ایران از ناحیه ناشناخته)، 5164 (پرتغال) ،6619 (چین) و 5271 (منشاء ناشناخته)، در برابر هر چهار نژاد مورد بررسی مقاومت نشان دادند (جدول ۳). با بررسی الگوی واکنش ارقام افتراقی و مقایسه با واکنش ژنوتیپ‌ها ملاحظه شد که وجود ژن(های) *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *YrSD*، *YrSU*، *YrCV* و *YrSP* در ژنوتیپ‌های مذکور محتمل می‌باشد.

ژنوتیپ‌های 1768 (خراسان)، 3560 (خوزستان) و 6789 (چین) نسبت به نژادهای $6E6A^+$، $134E134A^+$ و $134E142A^+$ مقاوم و نسبت به نژاد $6E4A^+$ حساس بودند. از بین این ژنوتیپ‌ها مقاومت ژنوتیپ 1768 بصورت کامل و مقاومت ژنوتیپ‌های 3560 و 6789 با درجه متوسط تظاهر نشان داد. با توجه به اینکه الگوی مشابهی در واکنش ارقام افتراقی مشاهده نشد احتمال دارد ژنوتیپ‌های مذکور دارای ژن مقاومتی به غیر از ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی باشند.

ژنوتیپ‌های 1724 (خراسان) و 1992 (ایران) نسبت به نژادهای $6E6A^+$، $134E134A^+$ و $6E4A^+$ مقاوم (با درجه متوسط) و نسبت به نژاد $134E142A^+$ حساس بودند. با توجه به شباهت این الگوی واکنش با الگوی بیماری‌زایی نژادها روی رقم Desprez Nord وجود ژن *YrND* در ژنوتیپ‌های مذکور محتمل می‌باشد. همانطور که ذکر شد، *YrND* تنها ژنی بود که نژاد $134E142A^+$ بطور اختصاصی نسبت به آن بیماری‌زایی نشان داد. ژنوتیپ 2192 (فارس) نسبت به نژادهای $6E6A^+$، $134E142A^+$ و $6E4A^+$ مقاوم و نسبت به نژاد $134E134A^+$ حساس بود.

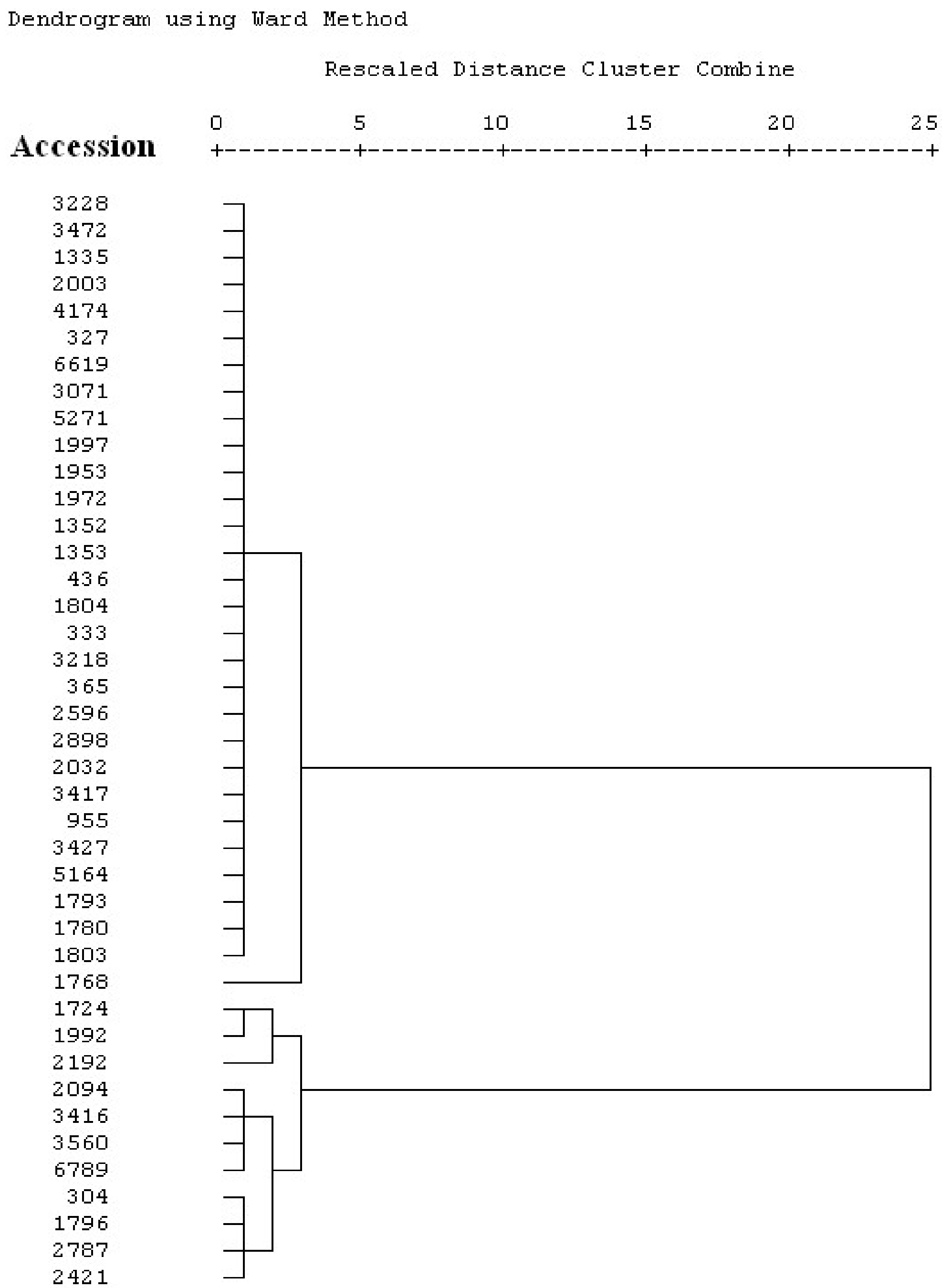
ژنوتیپ‌های 304 (آذربایجان شرقی)، 1796 (سمنان)، 2421 (ایران) و 2787 (ایران) نسبت به نژادهای $134E134A^+$، $134E142A^+$ و $6E4A^+$ مقاوم (با درجه متوسط) و نسبت به نژاد $6E6A^+$ حساس بودند. ژنوتیپ‌های 2094 (ایران) و 3416 (خراسان) نسبت به نژادهای $134E134A^+$ و $134E142A^+$ مقاوم (با درجه متوسط) و نسبت به نژادهای $6E6A^+$ و $6E4A^+$ حساس بودند. با توجه به اینکه الگوهای مقاومت/حساسیت مذکور با هیچ یک از واکنش‌های ارقام افتراقی نسبت به نژادهای مورد بررسی مطابقت نداشت احتمال دارد ژنوتیپ‌های مربوطه واجد ژن‌هایی به غیر از ژن‌های موجود در ارقام افتراقی (و یا ترکیبی از دو یا چند ژن مقاومت) باشد.

دندروگرام تجزیه خوشه‌ای (شکل ۱) ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به دو گروه تقسیم کرد که با نتایج فوق در تطابق می‌باشد. تعداد ۳۰ ژنوتیپ در گروه یک قرار گرفتند که ۲۹ ژنوتیپ متعلق به گروه دارای مقاومت کامل در برابر چهار نژاد بودند که در فوق مورد اشاره گرفت. همچنین ژنوتیپ 1768 نیز در گروه یک قرار گرفت که نسبت به سه نژاد $6E6A^+$، $134E134A^+$ و $134E142A^+$ دارای مقاومت

جدول ۳- تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه در برابر نژادهای *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

Table 3. Infection type of studied bread wheat genotypes to pathotypes of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

شماره نمونه Accession	Pathotype (Race) پاتوتیپ (نژاد)			
	6E6A+	134E134A+	134E142A+	6E4A+
304	7	4	4	4
327	0	2	0	0
333	1	2	1	1
365	0	2	2	1
436	1	1	2	2
955	2	2	2	0
1335	0	1	0	0
1352	0	1	1	0
1353	0	1	2	0
1724	3	5	7	3
1768	0	1	2	7
1780	1	1	1	0
1793	1	2	2	1
1796	7	4	5	5
1803	2	1	2	1
1804	0	1	2	2
1953	0	1	1	0
1972	0	1	1	0
1992	4	4	7	4
1997	0	2	0	0
2003	0	1	0	0
2032	1	2	0	0
2094	7	5	2	7
2192	3	7	2	2
2421	7	2	2	1
2596	2	2	0	0
2787	7	4	4	3
2898	2	2	0	0
3071	0	2	1	0
3218	0	2	1	2
3228	0	1	0	0
3416	7	4	3	7
3417	1	2	1	0
3427	1	2	2	0
3472	0	1	0	0
3560	3	5	4	7
4174	0	1	0	0
5164	1	2	2	0
5271	0	2	1	0
6619	0	2	0	0
6789	5	5	4	7



شکل ۱- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای براساس تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه در برابر نژادهای *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

Fig. 1. Dendrogram of cluster analysis based on infection type of studied bread wheat genotypes to pathotypes of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

کامل و در برابر نژاد $6E4A^+$ حساس بود. گروه دوم ۱۱ ژنوتیپ را در برگرفت. این ژنوتیپ‌ها دارای مقاومت اختصاصی ناقص (با درجه متوسط) در برابر برخی از نژادهای عامل بیماری بودند.

نتایج این تحقیق در مجموع نشان‌دهنده وجود تنوع منابع مقاومت به زنگ زرد در کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران بود. از میان کل نمونه‌های مورد مطالعه تعداد ۲۹ ژنوتیپ (۴۶/۷ درصد) نسبت به هر چهار نژاد مقاومت نشان دادند که علاوه بر تعداد و نسبت قابل توجه از لحاظ تنوع منشاء (آذربایجان شرقی، خراسان، کردستان، کرمانشاه، لرستان، مرکزی، همدان، پرتغال و چین) نیز جالب توجه می‌باشد.

این تنوع در منشاء ژنوتیپ‌های مقاوم می‌تواند شاهدی از تفاوت ژن‌های مقاومت موجود در این ارقام باشد که در تحقیقات آینده می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است که حتی در صورت مشابهت ژن‌های مقاومت در این ژنوتیپ‌ها نشأت یافتن آنها از اقلیم‌های مختلف به لحاظ زراعی ارزشمند بوده و برای به‌نژادگر امکان گزینش در خزانه ژنی را فراهم می‌آورد. این تنوع در خصوصیات، وجه مشخصه و ممتاز ذخایر توارثی است که نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید این امر است.

با توجه به اینکه هر چهار نژاد مورد مطالعه بر روی ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr25*، *Yr24* و *YrA* بیماری‌زا بودند، این ژن‌ها غیرمؤثر بوده و بهتر است از کشت ارقامی که فقط دارای این ژن‌های مقاومت می‌باشند (حداقل در چهار منطقه گرگان، کرج، مشهد و ساری) اجتناب شود. نظر به اینکه هیچ یک از چهار نژاد مورد مطالعه بر روی ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *YrSD*، *YrSU*، *YrCV* و *YrSP* بیماری‌زا نبودند، این ژن‌ها به عنوان ژن‌های مقاومت مؤثر (برای چهار منطقه گرگان، کرج، مشهد و ساری) شناسایی می‌شوند.

در تحقیق افشاری (Afshari, 2008) با بررسی ۲۷ نژاد زنگ زرد، برای ژن‌های *Yr10*، *Yr5*، *Yr4*، *Yr3*، *Yr1* و *YrSU* بیماری‌زایی مشاهده نشد که با نتایج مطالعه حاضر از لحاظ ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *YrSU* و *YrCV* در تطابق است. سه ژنوتیپ 1768 (خراسان)، 3560 (خوزستان) و 6789 (چین) فقط نسبت به یک نژاد ($6E4A^+$) حساس بودند و عدم مشابهت الگوی واکنش آنها در برابر نژادهای مورد مطالعه در مقایسه با الگوی واکنش ارقام افتراقی جالب توجه می‌باشد و با تحقیقات آتی می‌توان ژن (هایی) مقاومت موجود در این ژنوتیپ‌ها که سبب مقاومت در برابر سه پاتوتیپ دیگر شده است را مشخص نمود.

این نکته (عدم تطابق الگوی واکنش) در مورد ژنوتیپ‌های 2192 (فارس)، 304 (آذربایجان شرقی)، 1796 (سمنان)، 2421 (ایران) و 2787 (ایران)، 2094 (ایران) و 3416 (خراسان) نیز صادق بود که تعیین ژن مقاومت

در این حالت نیز نیازمند تحقیق بیشتر در این زمینه است. با توجه به محتمل بودن وجود ژن *YrND* در ژنوتیپ‌های 1724 (خراسان) و 1992 (ایران)، بنابر آنچه در فوق اشاره شد، توصیه می‌شود از کشت ژنوتیپ‌های حامل این ژن در مشهد احتراز گردد. این نتیجه با توجه منشاء ژنوتیپ 1724 (خراسان) جالب توجه می‌باشد و شاید بتواند شاهدی (اولیه) از وجود فشار انتخابی بر روی جمعیت بیمارگر در جهت ایجاد نژاد بیماری‌زا بر روی ژن *YrND* باشد. بدین معنی که با وجود این ژن در ارقام و ژنوتیپ‌های با منشاء مشهد (و یا بطور کلی خراسان) و کشت طولانی مدت آنها نژاد بیماری‌زا ایجاد گردیده است. البته همانطور که ذکر شد وجود این شاهد به تنهایی کافی نیست و اظهار نظر متقن در این رابطه نیازمند تحقیق بیشتر است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران و بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر از بابت پژوهش هزینه و امکانات لازم جهت انجام این تحقیق اعلام می‌دارند.

References

Afshari, F. 2008. Prevalent Pathotypes of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 67-78.

Afshari, F., Torabi, M., Nazari, K., Malihipour, A., Rajaei, S., Dadrezaei, T., Karbalaei Khiavi, H., Ahmadian Moghaddam, M. S, Mardoukhi, V., and Oghnum, R. 2005. Virulence factors of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* Westend, the causal agent of wheat yellow rust in some regions of Iran during 2002-2004. Seed and Plant 21: 357-373. (in Persian).

Arshad, Y., Ali-Alitabar, R., and RaeiatPanah, S. 1999. Evaluation of wheat accessions of Iranian National Plant Gene Bank for resistance to yellow rust. Final report of project. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Registration No: 78.261. 30 pp. (in Persian).

Arshad, Y., Ali-Alitabar, R., RaeiatPanah, S., Fallah, H. A. and Nikooseresht, G. R. 2000. Evaluation of wheat accessions of Iranian National Plant Gene Bank for resistance to yellow rust. Final report of project. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Registration No: 79.367. 54pp. (in Persian).

Borner, A., Roder, M. S., Unger, O., and Meinel. A. 2000. The detection and molecular mapping of a major gene for non-specific adult-plant disease resistance against stripe rust (*Puccinia striiformis*) in wheat. Theoretical and Applied Genetics 100: 1095-1099.

Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27: 314-337.

Chen, X. M. 2007. Challenges and solutions for stripe rust control in the United States. Australian Journal of Agricultural Research 58: 648-655.

Cheng, P., and Chen, X. M. 2010. Molecular mapping of a gene for stripe rust resistance in spring wheat cultivar IDO377s. Theoretical and Applied Genetics 121: 195-204.

Johnson, R. 1981. Durable resistance: definition, genetic control, and attainment in plant breeding. Phytopathology 71: 567-568.

Johnson, R. 1984. A critical analysis of durable resistance. Annual Reviw of Phytopathology 22: 309-330.

Kilpatrick, R. A. 1975. New wheat cultivars and longevity of rust resistance, 1971–1975. US Department of Agriculture, Agricultural Research Services, North-East Registration ARS-NE, NE-64.

Li, Q., Chen, X. M., Wang, M. N., and Jing, J. X. 2011. *Yr45*, a new wheat gene for stripe rust resistance on the long arm of chromosome 3D. Theoretical and Applied Genetics 122: 189-197.

Lu, Y. M., Lan, C. X., Liang, S. S., Zhou, X. C., Liu, D., Zhou, G., Lu, Q. L., Jing, J. X., Wang, M. N., Xia, X. C., and He, Z. H. 2009. QTL mapping for adultplant resistance to stripe rust in Italian common wheat cultivars Libellula and Strampelli. Theoretical and Applied Genetics 119: 1349-1359.

Malihipour, A., and Torabi, M. 2008. Reaction of rainfed wheat advanced lines and cultivars to two races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at seedling stage. Iranian Journal of Field Crop Sciences 39: 193-202. (in Persian).

McIntosh, R. A., Dubcovsky, J., Rogers, W. J., Morris, C., Appels, R., and Xia, X. C. 2011. Catalogue of gene symbols for wheat: 2011 supplement. 29pp.

McIntosh, R. A., Yamazaki, Y., Dubcovsky, J., Rogers. J., Morris, C., Somers, D. J., Appels, R., and Devos, K. M. 2008. Catalogue of gene symbols for wheat-

morphological and physiological traits. Pp. 27-37. In: Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium. Brisbane, Australia.

McNeal, F. H., Konzak, C. F., Smith, E. P., Tate, W. S., and Russell, T. S. 1971. A uniform system for Depatrment of Agricultural Services of United State. ARS 34-121. 42pp.

Nazari, K., Torabi, M., Hassanpour Hossni, M., Kashani, A., Hooshyar. R., and Ahmadian Moghaddam, M. S. 2000. Evaluation of resistance to yellow rust in advanced wheat lines suitable for dryland areas at seedling and adult-plant stage. Seed and Plant 16: 252-262. (in Persian).

Paillard, S., Trotoux-Verplancke, G., Perretant, M. R., Mohamadi, F., Leconte, M., Coedel, S., de Vallavieille-Pope, C., and Dedryver, F. 2012. Durable resistance to stripe rust is due to three specific resistance genes in French bread wheat cultivar Apache. Theoretical and Applied Genetics 125: 955–965.

Ren, Y., Li, Z., He, Z., Wu, L., Bai, B., Lan, C., Wang, C., Zhou, G., Zhu, H., and Xia, X. 2012. QTL mapping of adult-plant resistances to stripe rust and leaf rust in Chinese wheat cultivar Bainong 64. Theoretical and Applied Genetics 125: 1253-1262.

Zadoks, J. C. 1961. Yellow rust on wheat: studies in epidemiology and physiologic specialisation. Tijdschr Plantenziekten 67: 69-256.

Zahravi, M., Ghanadha, M. R., Taleei, A., Zeinali, H. and Torabi, M. 2004. Evaluation of seedling resistance of some advanced lines of bread wheat to yellow rust. Pajouhesh & Sazandegi 63: 51-56. (in Persian).